地铁车站高架桥墩下桩基托换施工监测技术

李　文[1]　蒋双南[2]　左　敏[2]　周　迎[2]

（1. 武汉市车都轨道交通有限公司，武汉　430000
2. 华中科技大学　土木学院工程管理研究所，武汉　430074）

【摘　要】随着城市基础设施的持续建设，城市轨道交通建设得到快速发展。但受旧有城市规划的制约，新的地铁在施工中将不可避免地会部分穿越既有建（构）筑物的基础。如何进行既有建筑物桩基的托换施工及风险控制成为地铁施工中不可避免的技术、管理问题。本文以某城市地铁车站高架桥墩桩基托换为例，对桩基托换方案设计、施工工艺及安全监测工作等做了详细论述，为在复杂施工环境和地质条件下进行既有桥梁桩基托换的施工技术及安全风险管理工作积累了宝贵的经验。

【关键词】桩基托换；既有桥梁；施工工艺；数据监测；施工设计
【中图分类号】U412.37；U445；U443.15　【文献标识码】A　【文章编号】1674－7461(2016)01－0095－05
【DOI】10.16670/j.cnki.cn11－5823/tu.2016.01.17

1　引言

桩基托换技术是进行地基处理和加固的一种方式，主要解决既有建筑物的地基加固问题、既有建筑物基础下需要修建地下工程以及新建建筑工程影响到既有建筑物安全时需要处理等问题[1]。近年来随着城市地下工程的大量建设，应用托换技术的工程数量日益增多[2]。然而桩基托换技术技术难度大、费用较高、工期较长，是一种风险性较强的特殊施工方法[3-4]。本文结合某城市地铁施工实例，介绍桩基托换技术在实际工程中的应用并对其设计、施工工艺及安全监测等工作等做出详细论述，并总结复杂施工环境和地质条件下进行既有桥梁桩基托换的施工及安全风险管理工作的经验。

2　工程概况

2.1　设计概况

某城市立交桥为南北直行高架，沿线东西向规划宽不等。20#—22#桥墩基础采用墩下设两根直径为1.20m的钻孔灌柱桩，桩距为3.30m，设计桩长均为43.65m，实际施工桩长分别为43.51m、43.55m、43.65m，桩尖均坐落在粉、细砂层中，桩基承台尺寸为5 500×1 800×1 500mm（长×宽×高），20#、22#承台边距离车站围护结构外侧最小距离分别为5.3m、3.28m。

该城市地铁车站为地下三层13m岛式站台车站，车站总长323.5m，标准段宽22.3m，站后设双线双列位停车线。车站中心里程处标准段基坑宽22.3m、基坑深度约为23.937m，高架桥下基坑宽约23.6m，基坑深约24.6m，桥面下车站主体基坑拟采用盖挖法施工，围护拟采用1m地连墙加四道砼支撑的支护形式。车站与高架桥示意图如图1所示。

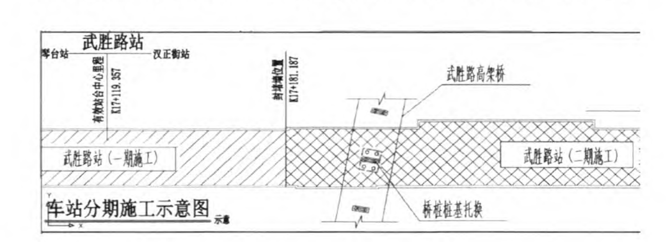


图1　车站与桥桩施工示意图

【基金项目】　国家自然科学基金“地铁施工安全风险时空耦合机理及实景仿真预警技术研究”（编号:71471072）
【作者简介】　李文（1966－），女，高级工程师。主要研究方向：地铁工程风险控制。

2.2 工程地质

场区地貌单元为长江Ⅰ级阶地，属河流堆积平原区。地层主要为近代人工填筑土层(Qml/)、湖积层(Q/4l/)、第四系全新统冲积层(Q/4al/)及冲洪积层(Q/4al + pl/)。场区基岩为志留系(S/2f)泥岩，岩面整体较为平缓，局部有所起伏。

如图2所示，1-1层为杂填土，1-3a层为淤泥质粉质黏土，3-1层为黏土，3-1a层为褐黄色粉质黏土，3-1b层为粉砂，3-5层为粉质黏土夹粉砂，4-1层为粉、细砂，4-2层粉、细砂全线呈巨厚层状分布，揭示层厚5.10～18.50m。20a-1层为强风化泥岩20a-2层为中等风化泥岩。20a-3层为微风化泥岩。

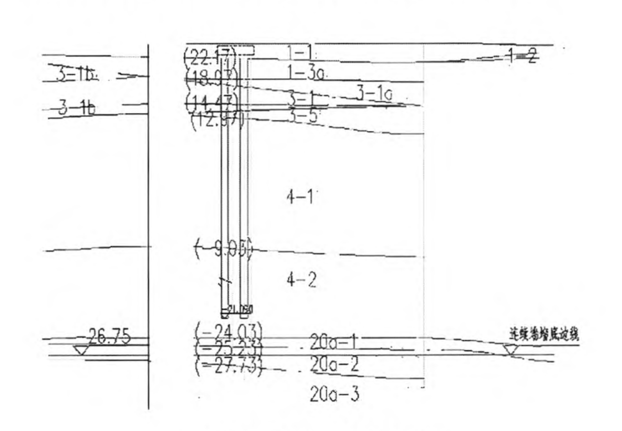


图2 工程地质示意图

3 桥墩桩基托换施工风险控制分析

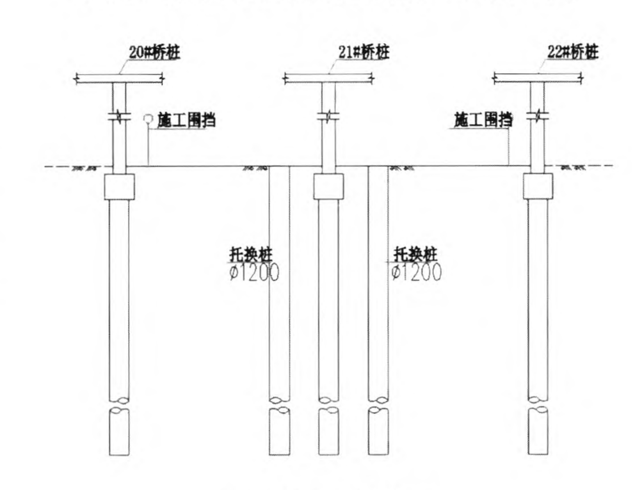
3.1 桩基托换总体方案

在基坑开挖的范围内，随着土体的卸载桥桩侧摩阻力损失，为了弥补21#桥桩桩基在基坑开挖过程中摩阻力及整体稳定性损失，在基坑开挖前对21#桥桩进行桩基托换，即在车站基坑围护结构施工前，首先在被托换桩沿高架桥两侧各施做两根钻孔灌注桩作为托换桩，托换桩桩长53m，且桩底进入(20a-3)微风化泥岩层的距离不少于1m；然后放坡开挖至设计新增承台底部标高，在基坑内施工新增型钢混凝土承台包住既有承台，新增承台与既有承台之间采用界面处理剂及植筋的方式进行连接；待新增承台达到设计强度后，开挖桥面下主体基坑。

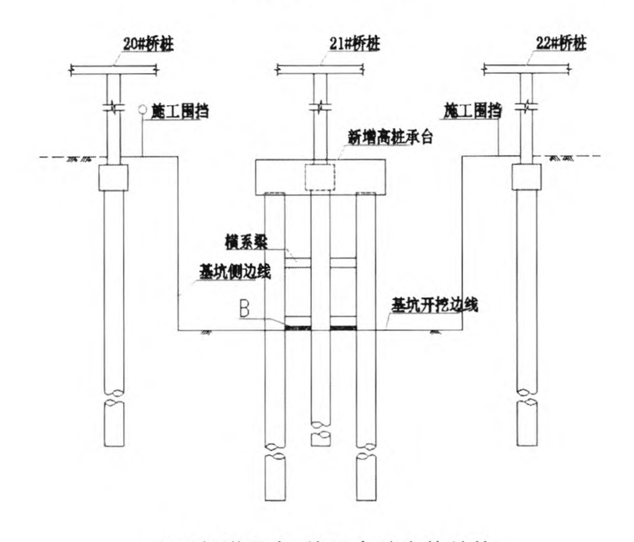
20#、22#桥桩桩基位于车站主体基坑两侧，为降低桥面下地连墙施工对20#、22#桥桩的影响，对桥面下车站主体围护地连墙槽壁进行高压旋喷加固。

考虑到托换桩施工过程中对21#桥墩桩基的影响，采用回旋钻正循环成孔工艺，提高泥浆质量，防止坍孔。

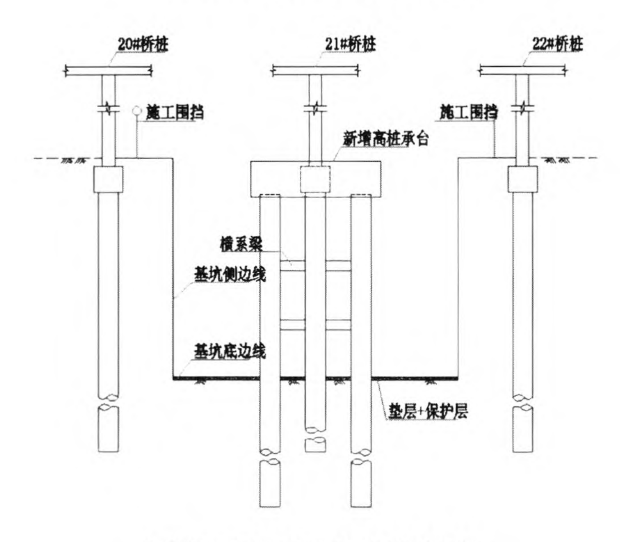
如图3所示，桩基托换主要施工工序如下：



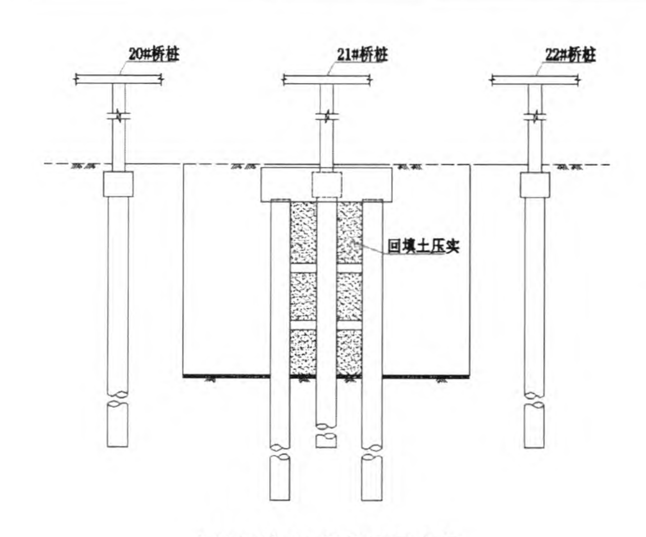
(a)托换桩对称施工



(b)新增承台，施工车站主体结构



(c)施工车站砼垫层、底板及隔墙



(d)回填、恢复管线及交通

图3 桩基托换施工工序

(1)进行交通疏解,迁改管线,施工围挡,破除路面;

(2)施工四根托换桩,且托换桩对称施工;

(3)放坡开挖至托换基坑底标高,施工砼垫层,浇筑新建承台;

(4)待高桩承台达到设计强度后,桥面下地连墙槽壁加固,施工车站主体围护,开挖桥面下基坑。随着竖向开挖至横系梁底标高,依次施工垫层及横系梁;

(5)待横系梁达到设计强度后,继续开挖车站主体基坑至基坑底标高,施工车站砼垫层及保护层,施工车站底板及隔墙;

(6)随着施工车站主体结构,依次向上回填隔墙内填土至承台底。回填车站顶板覆土,恢复管线,恢复交通。

托换基坑安全等级为一级,变形控制等级为一级。根据《基坑工程技术规程》(DB42/T159-2012)及《6号线施工设计技术要求》的要求,基坑一倍范围内有重要保护对象时,水平位移变形控制标准分别为 δ≤40mm,最大水平位移≤0.15% h,且≤30mm,地面最大沉降量≤0.15%h,其中h为基坑开挖深度(m)。因此经比较计算,控制标准为:最大水平位移≤3.75mm,地面最大沉降量≤0.15%h(约3.75mm);托换桥桩与既有桥桩共同作为永久结构承担上部荷载;在托换过程及车站施工过程中高架桥桩基水平位移控制在10mm内,沉降控制在20mm内且桥梁变形控制指标应由该高架桥产权单位确认,保护方案须经产权单位同意后方能施工。

3.2 托换基坑及托换体系设计

3.2.1 托换基坑

桩基托换基坑深约2.45m,基坑安全等级一级,采用放坡开挖,放坡坡率1:1,面层喷100mm厚C20素混凝土护坡。

3.2.2 托换体系设计

对21#桥桩进行主动托换的方案,即在原被托换桩沿桥方向两侧新增四根托换桩,将新增承台包裹原承台形成一个整体。

(1)托换桩采用C30钻孔灌注桩,直径均为1200mm,桩长为53m,且桩底进入(20a-3)微风化泥岩不小于1m。且在每根托换桩内沿桩周预埋3根直径60的注浆管用于后压浆。

(2)新增承台采用C40、P8防水钢筋砼,承台为型钢混凝土结构,承台尺寸为8 000×6 400×2 300mm(长×宽×高),原承台表面凿毛、植筋,新浇筑砼包裹原承台,在原承台上下设置型钢,按四桩承台进行设计,型钢之间采用钢筋焊接连接成型钢钢架。减少开挖深度和施工中对高架桥的影响,同时减少新承台施工对车站主体结构的影响。

3.3 车站基坑开挖时桥桩保护设计

随着桥面下主体基坑开挖,土体应力场重新分部,对20#~22#桥桩进行保护设计,以降低施工风险。

(1)槽壁加固

如图4所示,20#、22#桥桩桩基位于车站主体基坑两侧,桥面下地连墙施工下因受净空的限制,需采用特殊机械,成槽时间长;钢筋笼需分批吊装

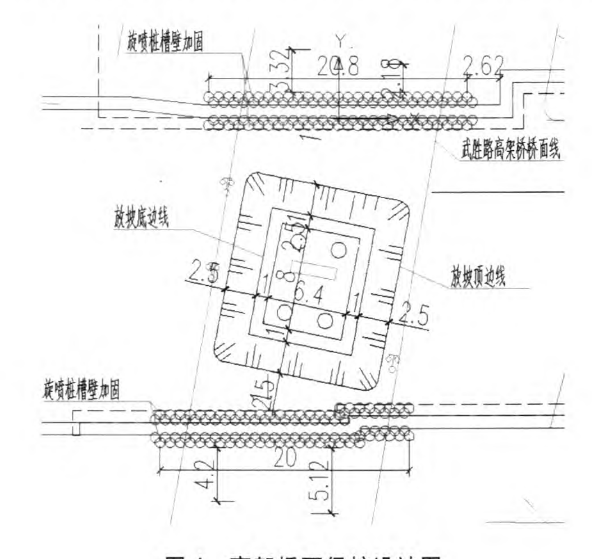


图4 高架桥下保护设计图

分段连接,吊装时间长;围护落底,成槽深度深;场区地貌单元为长江Ⅰ级阶地,承压水头高,且侧壁有(1-3a)淤泥质粉质黏土层,自稳能力差,场区地质差;因此槽壁具有暴露时间长,成槽深度深,侧壁地质差等特点,施工中槽壁有坍槽的可能,为降低桥面下地连墙施工坍槽对20#、22#桥桩的影响,在桥面下地连墙拟开挖约40m范围内槽壁两侧采取高压旋喷加固,加固深度为地面以下47m,且加固深度应比20#、22#桩端长不小于1m。加固完成后无侧限抗压强度≥1.0MPa,抗渗系数小于10-7/cm/s。

(2)竖向连梁设计

随着桥面下基坑开挖,沿着桥桩竖向共采用两道砼横系梁连接,横系梁与既有桥桩之间采用植筋连接,与托换桩之间采用预留钢筋接驳器连接,横系梁Ⅰ、Ⅱ截面尺寸为800×1 000mm和600×1 000mm。竖向联系梁平面配筋图如图5所示。

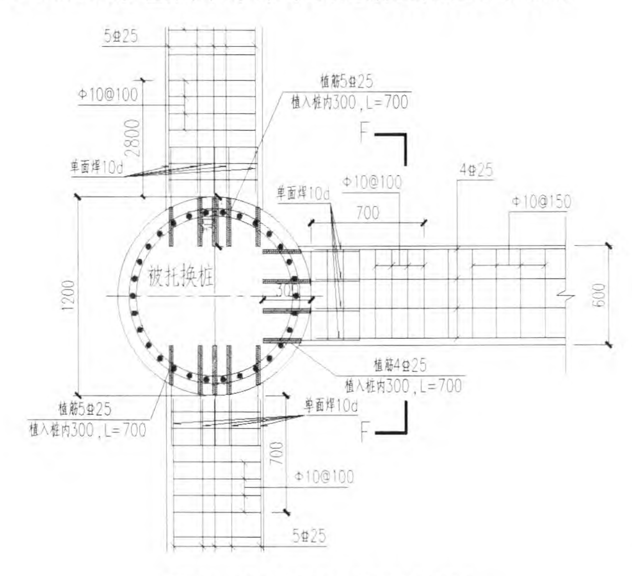


图5 竖向联系梁平面配筋图

(3)地下水处理

桥面下主体围护采用地连墙落底加旋喷桩接缝止水,采用坑内疏干降水,坑外设置减压井,降低坑内外水头差。

(4)隔墙内回填

桥桩桩基与主体结构隔墙之间随主体结构向上施工,依次向上回填隔墙内填土至承台底标高。

4 施工监测分析

4.1 施工监测要求

(1)本桩基托换基坑安全等级为一级,基坑变形控制保护等级为一级。

(2)由于历史上该高架桥发生过桩基倾斜的情况,在桩基托换前应进行高架桥现状评估。

(3)在主体基坑围护结构施工前,要求先进行第三方监测,为施工过程中的监测、抢险及可能产生的纠纷提供必要的依据。

(4)现场监控测量应贯穿整个施工过程始终,各项监测工作的监测频率应根据施工进度确定。结构变形过大或场地情况变化时应加密量测,有事故征兆时则需连续监测。每次监测工作结束后,应及时提交监测报告和处理意见。当遇到突发情况时应加密监测,并做出相应处理,及时上报。

(5)托换桩施工过程应加强对高架桥墩的变形监测及目测桥面裂缝发展情况,发现问题及时处理,其中桥墩监测重点监测17#~23#桥墩。

(6)桩基托换基坑正常情况下监测频率:2次/天;植筋及浇筑承台过程中4次/天;在桥桩下部主体基坑开挖过程中应连续监测。

(7)监测项目警戒值

①电力、电信管线:沉降及水平位移均不得超过10mm,每天发展不得超过2mm;

②高架桥桩基水平位移控制在10mm,沉降控制在20mm内(此警戒值须由高架桥产权单位确认)。

(8)施工前须征得高架桥产权单位同意且尽早展开沟通与协调,如产权单位有特殊要求,尽快通知监理及设计,即使调整设计方案。盾构机周边1m,共计16个,B型孔孔深42m,低于盾构机底部3m,共计13个;同时设置2个测温孔T1、T2,深42m。

4.2 重点部位监测数据分析

如图6,取20#、21#、22#三个桥墩的监测点Q05~Q12的监测数据来说明其监测数据的变化情况,并进行统计分析,具体时间取2014年12月15日到

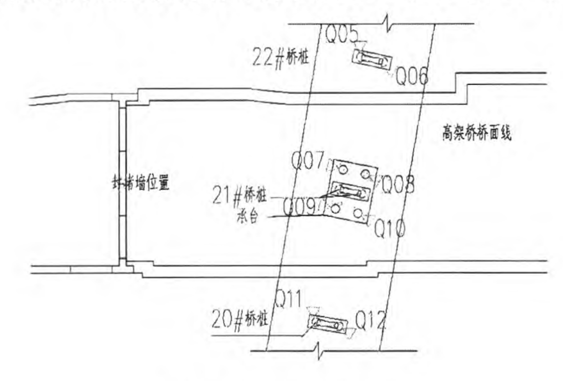
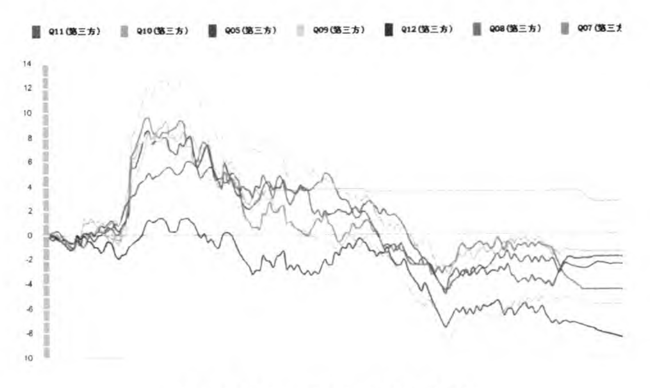


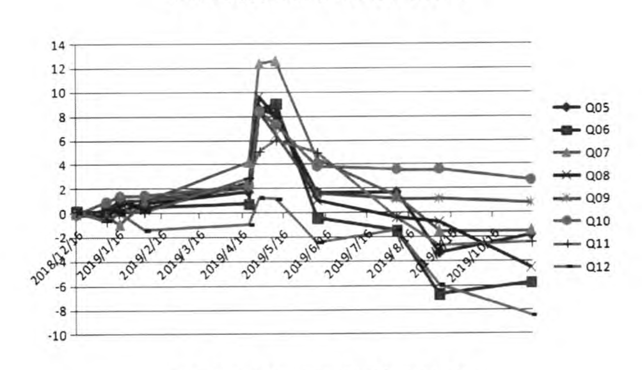
图6 施工监测点布置图

2015 年 11 月 12 日这一时间段的监测数据汇总。

相应的监测点地表累计沉降变化情况如图 7 所示。



(a)建筑物沉降监测数据分析



(b)不同监测点监测数据分析

图 7 监测数据分析图

2015 年 4 月 20 日左右,为降低桥面下地连墙施工坍槽对 20#、22#桥桩的影响,在桥面下地连墙拟开挖约 40m 范围内槽壁两侧采取高压旋喷加固。并在 20#、22#桥桩预加固区打入隔离桩,由于注浆及打入隔离桩所产生的压力较大,桥桩均有所隆起,尤其 Q07 监测点隆起速率最大,在 5 月 10 日达到最大值 12. 56mm。

加固区施工结束后,随着托换桩的施工开始,桥桩又开始逐渐沉降。6 月 10 日,托换桩施做完成,此时前期由于槽壁加固导致的隆起和托换桩施工引起的沉降基本到达中和状态。此时隆起值最大为 Q07 处(6. 59mm),沉降最大为 Q12(-1. 33mm)。

7 月 18 日施做高架桥下地下连续墙,因桥面下方空间限制,成槽深度深,施工时间长,槽壁暴露时间长,侧壁地质差等因素导致开挖过程中土体扰动造成水土的损失,桥桩又开始有不同程度的沉降。由监测数据分析图可知, 20#桥桩监测点 Q12 沉降最为明显,至 9 月 6 日地连墙施做完成,Q12 累计沉降量最大达到-7. 29mm。

由此可知,槽壁加固以及基底加固产生的土层压力会导致桥桩隆起。而托换桩(钻孔灌注桩)及地连墙施工易导致水土损失,因而引起地面沉降。

5 结论

本文结合某城市地铁车站高架桥墩下桩基托换实际施工情况,对桩基托换施工技术进行综合的风险控制分析,有利于施工的正常有序进行,同时还可以为将来类似的工程提供施工经验,具有重要的指导意义。

通过分析得出以下几点结论:

(1)在地铁施工过程中,应关注周边环境状况,利用设置监测点和合理的施工工艺设计对施工的周边环境进行有效地保护,对施工技术方面采取符合实际水文地质概况的应对措施,这样可以对施工风险起到良好的控制作用。

(2)在施工现场不同部位埋设监测点能有效的提高安全监控范围,对其施工过程将要出现的风险进行很好的预警及反馈,并能让现场施工人员及时采取处理措施,有效避免险情的发生。

(3)通过对地铁车站高架桥墩下桩基托换施工现场的实际监测数据进行统计分析,可以了解托换施工的某些监测项目需得到重点关注。例如,施工过程中 20#、21#、22#桩基周围的地表沉降量远远大于其它几个桩基的沉降量,由此需加强监测频率,重点关注 20#、21#、22#桩基周围各监测点数据变化情况,做好有效的防范措施。

参考文献

[1] 叶书麟, 汪益基. 基础托换技术[M]. 北京:中国铁道出版社, 1991.

[2] 张燕霞, 郑七振等. 地铁隧道穿越桥梁桩基的托换施工技术[J]. 工程建设与设计, 2009(12).

[3] 卜建清, 孙宁等. 桩基主动托换技术进展[J]. 铁道建筑, 2009(4)。

[4] 谢婉丽, 张林洪等. 地基处理中的托换技术及应用[J]. 昆明理工大学学报, 2001(2).

[5] 王占生, 王梦恕. 盾构施工对周围建筑物的安全影响及处理措施[J]. 中国安全科学学报, 2002(2).

[6] 马忠政等. 盾构穿越桥梁桩基的托换及除桩施工技术研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010(1).

(下转第 113 页)

Influence of Empty Shield Tunneling Segment Pushed Ahead through on the Existing Tunnel

Li Zhihua[1], Tao Ye[2], Zhong Changji[2]

(1. *Shanghai Tianyou Engineering Consulting Co., Ltd.*, *Shanghai* 200092, *China*;
2. *School of Civil Engineering & Mechanics*, *Huazhong University of Science & Technology*, *Wuhan* 430074, *China*)

Abstract: Wuhan Metro Line 6 has to go under an existing station of the 2nd line by the method of in advance tunneling construction. This article describes the construction process in advance of shield tunneling segment through a series of problems existing in the corresponding solutions, and analyzes the track surface during construction on the 2nd line of settlement and the existing station building subsidence case of using shield empty push impact on the existing tunnel. Based on Wuhan metro Line 6 tunnel, this article carries out a systematic analysis on the early application of the existing tunnel excavation method and the shield push with no-load. On this basis, the article dissusses the shield tunneling segment results from the rail surface setflement of the existing track and station building cumulative settlement. The project also uses a special precipitation and strengthening programs to reduce the impact of the construction process on the existing line operator and provides a useful reference for similar engineering.

Key Words: Shield Tunneling; Undercutting Method; Push Forward with No-load

(上接第 99 页)

Application of Viaduct Pile Foundation Underpinning in Metro Construction

Li Wen[1], Jiang Shuangnan[2], Zuo Min[2], Zhou Ying[2]

(1. *Wuhan Auto-city Tram Transportation Co., Ltd.*, *Wuhan* 430074, *China*;
2. *School of Civil Engineering & Mechanics*, *Huazhong University of Science & Technology*, *Wuhan* 430074, *China*)

Abstract: Railway construction has been developed rapidly. But during the construction of a new subway, the tunnel will inevitably pass through the foundation of buildings. How to control the risk of underpinning construction and protect existing buildings becomes an inevitable challenge. The paper focuses on the management and technology used in Viaduct Pile foundation underpinning, elaborates the design, construction technology and safety monitoring work. The provided valuable experience of bridge pile foundation underpinning construction in complex environments and geological conditions is helpful to security risk management.

Key Words: Foundation Underpinning; Existing Bridges; Construction Technology; Data Monitoring; Construction Design